

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
30. August 2001 (30.08.2001)

PCT

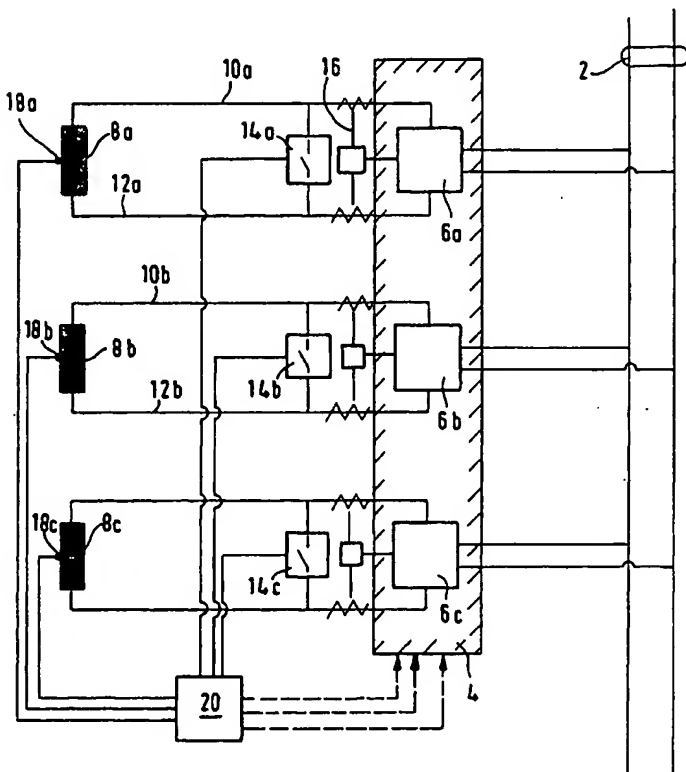
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 01/63720 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H02H 3/02** (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **MAGNET-MOTOR GESELLSCHAFT FÜR MAGNETMOTORISCHE TECHNIK MBH** [DE/DE]; Petersbrunner Strasse 2, 82319 Starnberg (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/EP01/01986**
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
21. Februar 2001 (21.02.2001) (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **EHRHART, Peter** [DE/DE]; Saalburgerstrasse 24a, 81375 München (DE). **HAGENLOCHER, Roland** [DE/DE]; Fürstenriederstrasse 5, 82152 Planegg (DE).
- (25) Einreichungssprache: **Deutsch**
- (26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**
- (30) Angaben zur Priorität:  
100 07 777.3 21. Februar 2000 (21.02.2000) **DE** (74) Anwalt: **KLUNKER, SCHMITT-NILSON, HIRSCH;** Winzererstrasse 106, 80797 München (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **PERMANENT MAGNET INDUCED ELECTRIC MACHINE AND METHOD FOR OPERATING SUCH A MACHINE**

(54) Bezeichnung: **DAUERMAGNETISCH ERREGTE ELEKTRISCHE MASCHINE UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER SOLCHEN MASCHINE**



(57) Abstract: If a winding short-circuit occurs in a stator coil winding of a permanent magnet induced electric machine, a short-circuit current is produced in said winding that results in an electrically induced magnetic alternating flux whose value corresponds to the permanent magnetic alternating flux flowing through the respective winding and which is opposite in phase. Such a short-circuit current could lead to a burn-down of the winding due to its considerable strength and the loss associated therewith. The aim of the invention is to prevent such a burn-down. To this end, the coil affected by the short-circuit is short-circuited as a whole or is impinged upon with a corresponding in-phase current as soon as a winding short-circuit is detected. The entire short-circuit current in the coil reduces the excessive short-circuit current in the individual winding or in the individual winding section, whereby the respective winding part can be prevented from burning down.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/63720 A1



(81) Bestimmungsstaaten (*national*): CA, US.

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Wenn es in einer dauermagnetisch erregten elektrischen Maschine in einer Stator-Spulenwicklung zu einem Windungs-Kurzschluß kommt, wird dort ein Kurzschlußstrom erzeugt, der einen elektrisch induzierten magnetischen Wechselfluß zur Folge hat, der im Betrag dem dauermagnetischen Wechselfluß durch die betroffene Windung entspricht und diesem in der Phase entgegengesetzt ist. Ein solcher Kurzschlußstrom könnte aufgrund seiner beträchtlichen Stärke und des damit verbundenen Verlusts zu einem Abbrennen der Windung führen. Um dies zu verhindern, schlägt die Erfindung vor, im Fall des Erkennens eines Windungs-Kurzschlusses zumindest die von dem Kurzschluß betroffene Spule insgesamt kurzzuschließen oder mit diesem entsprechenden und phasenrichtig gesteuerten Strom zu beaufschlagen und aufgrund dieses Gesamt-Kurzschlußstroms in der Spule den überhöhten Kurzschlußstrom in der einzelnen Windung oder in dem einzelnen Windungsabschnitt zu reduzieren. Hierdurch läßt sich ein Abbrennen des betroffenen Windungsteils vermeiden.

5                    Dauermagnetisch erregte elektrische Maschine und  
Verfahren zum Betreiben einer solchen Maschine

Die Erfindung betrifft eine dauermagnetisch erregte elektrische Maschine, umfassend:

10

- einen Rotor mit einem oder mehreren Dauermagneten;
- einen Stator mit einer oder mehreren Spulenwicklungen; und
- einer elektronischen Schalteinrichtung zum Einkoppeln von Strom in die Spulen und/oder zum Auskoppeln von Strom aus den Spulen.

15

Derartige Maschinen sind allgemein bekannt. Üblicherweise ist der Rotor der Dauermagnete tragende Erreger-  
20 teil, der in einer vorbestimmten Lage gegenüber dem Stator drehbar angeordnet ist. Mit Hilfe der elektronischen Schalteinrichtung wird in die Spulen beispielsweise aus einem Gleichspannungszwischenkreis Energie eingekoppelt, um die Maschine als Motor zu betreiben. Im Betrieb als  
25 Generator wird die in den einzelnen Spulenwicklungen durch die Drehung des Rotors erzeugte elektrische Energie über die elektrische Schalteinrichtung ausgekoppelt.

30 Nach dem Faraday'schen Induktionsgesetz wird in den einzelnen Spulenwindungen eine Spannung induziert, an den Anschlüssen der Spulenwicklungen steht die Summe der einzelnen Windungsspannungen an.

35 Wenn bei laufender Maschine ein Kurzschluß in einer Windung oder in mehreren bzw. über mehrere Windungen einer Statorwicklung auftritt, kommt es durch den die Spulenwicklungen durchsetzenden magnetischen Wechselfluß

- 2 -

zu einem Kurzschlußstrom in der kurzgeschlossenen Windung bzw. in den kurzgeschlossenen Windungen.

5        Gemäß der Lenz'schen Regel weist der Kurzschlußstrom eine Stärke auf, gemäß der der dauermagnetische Wechselfluß aufgehoben wird. Der durch den Kurzschlußstrom elektrisch induzierte magnetische Wechselfluß hat also den gleichen Betrag wie der durch die Dauermagnete hervorgerufene Wechselfluß und ist  
10        letzterem in der Phase entgegengesetzt.

Die in einer oder mehreren oder über mehrere kurzgeschlossene Windungen fließenden Kurzschlußströme übersteigen die Nenn-Spulenströme um ein Mehrfaches, und  
15        dementsprechend kommt es zu beträchtlichen Wärmeverlusten. In der Regel können die Statorwicklungen dann nicht ausreichend gekühlt werden, so daß es zum Abbrand der betroffenen Windung oder des Windungsteils in der Statorwicklung kommt.

20        Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine dauermagnetisch erregte elektrische Maschine der genannten Art derart weiterzubilden, daß im Fall eines Windungskurzschlusses eine Zerstörung der vom Kurzschluß  
25        betroffenen Windung bzw. des betroffenen Windungsabschnitts verhindert werden kann.

Außerdem soll ein Verfahren zum Betreiben einer dauermagnetisch erregten elektrischen Maschine angegeben  
30        werden, mit dessen Hilfe im Fall eines Windungskurzschlusses eine Zerstörung der kurzgeschlossenen Windung vermieden wird.

Zur Lösung der obigen Aufgabe ist die elektrische  
35        Maschine erfindungsgemäß ausgerüstet mit

- 3 -

- einer Kurzschlußdetektoreinrichtung zum Erfassen eines Kurzschlusses in einer oder in mehreren Windungen einer Spule, und
- eine Kompensationseinrichtung zum Veranlassen eines  
5       Kompensations-Stromflusses in zumindest derjenigen  
      Spule, die die kurzgeschlossene Windung enthält.

Bei einem Verfahren zum Betreiben einer dauermagnetisch  
erregten elektrischen Maschine mit den eingangs  
10       genannten Merkmalen sieht die Erfindung folgende  
      Schritte vor:

- Überwachen jeder Spule, um einen möglichen Windungs-  
      Kurzschluß in der Spule zu erkennen, und
- 15       - im Fall eines Kurzschlusses, Veranlassen eines  
      Kompensations-Stromflusses in zumindest derjenigen  
      Spule, die die kurzgeschlossene Windung enthält.

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, daß man bei  
20       einem Windungs-Kurzschluß zwar nicht die Entstehung  
      eines Kurzschlußstroms vermeiden kann, der zu einem  
      betragsmäßig dem dauermagnetischen Wechselfluß  
      entsprechenden elektrisch induzierten magnetischen  
      Wechselfluß führt, daß man diesen Kurzschlußstrom aber  
25       auch auf solche Windungen verteilen kann, die nicht von  
      dem Kurzschluß betroffen sind, jedoch mit der vom  
      Kurzschluß betroffenen Windung magnetisch gekoppelt  
      sind.

30       In einer Ausführungsform der Erfindung wird bei  
      Erkennung eines Kurzschlusses in einer Windung oder in  
      einem Windungsabschnitt einer Spulenwicklung die  
      betreffende Spule an ihren Anschlüssen kurzgeschlossen,  
      so daß sich ein Kurzschlußstrom in der gesamten Spule  
35       einstellt, der zu einem elektrisch induzierten  
      magnetischen Wechselfluß führt, der betragsmäßig dem

- 4 -

dauermagnetischen Wechselfluß entspricht und diesem in der Phase entgegengesetzt ist. Durch diesen Vorgang wird die von dem Kurzschluß betroffene Windung entlastet. Der Kurzschlußstrom der betroffenen Windung verringert sich  
5 erheblich, so daß die durch den "verteilten" Kurzschlußstrom verursachten Verluste durch die vorhandenen Kühlmittel ausgeglichen werden können, also ein Abbrand der betroffenen Windung verhindert werden kann.

10

Speziell bei elektrischen Maschinen mit Stator aus Einzelspulen, die nur schwach magnetisch miteinander verkettet sind, entspricht der durch die gesamte Spule fließende Kurzschlußstrom in etwa dem maximalen  
15 Betriebsstrom, der beim Normalbetrieb durch die Spulenwicklung fließt. Die für den normalen Betriebsstrom ausgelegte Kühlung reicht also im Fall eines Windungs-Kurzschlusses aus, die thermischen Verluste durch den in der betroffenen Windung fließenden  
20 Kurzschlußstrom und den im Rest der Spulenwicklung fließenden Kurzschlußstrom zu kompensieren.

25

Im Fall eines Kurzschlusses kann die Maschine - je nach Anwendungsfall - rasch und ungeregelt oder langsam und geregelt zum Stillstand gebracht werden. Im Fall einer elektrischen Maschine mit Einzelspulen kann im Fall eines Windungs-Kurzschlusses die betroffene Spule kurzgeschlossen werden, die übrigen Spulen hingegen können wie im Normalbetrieb angesteuert werden, d. h.,  
30 es läßt sich ein geregeltes Abbremsen des Motors erreichen. Möglich ist aber auch das Kurzschließen einer oder mehrerer weiterer Spulen, bis hin zu dem Extremfall, daß sämtliche Spulen kurzgeschlossen werden. In diesem Fall erfolgt ein extrem rasches Anhalten der  
35 Maschine, was allerdings in einigen Fällen durchaus in Kauf genommen werden kann.

ERSATZBLATT (REGEL 26)

- 5 -

Die schaltungstechnische Realisierung der Veranlassung eines Kompensations-Stromflusses, d. h. eines Kurzschlußstroms in dem von dem Windungs-Kurzschluß nicht betroffenen Teil einer oder mehrerer Spulen, läßt sich bevorzugt durch eine Schalteinrichtung zwischen den Anschlüssen der Spulenwicklung vornehmen. Mit Hilfe eines Relais oder eines Schützes erfolgt dann der Kurzschluß der Statorwicklung, in der sich der vom Kurzschluß betroffene Windungsteil befindet. Vorteilhaft ist hierbei insbesondere, daß der dann fließende Kurzschlußstrom automatisch phasenrichtig bezüglich des Kurzschlußstroms in der betroffenen Windung ist.

Als Alternative zu der Schalteinrichtung zwischen den Anschlüssen der Spulenwicklung, oder aber auch als Ergänzung zu einer solchen Schalteinrichtung kann die Kompensationseinrichtung durch die ohnehin vorhandene elektronische Schalteinrichtung gebildet werden, die das Einkoppeln bzw. Auskoppeln der Ströme in die Spulenwicklung bzw. aus der Spulenwicklung steuert. Die elektrische Maschine besitzt - sowohl als Motor als auch als Generator - üblicherweise eine elektronische Stelleinrichtung, die die Spulenwicklung aus einem Gleichspannungszwischenkreis speist bzw. aus der Spulenwicklung zeitrichtig Energie in einen Gleichspannungszwischenkreis einkoppelt. Im Fall eines Kurzschlusses wird diese elektronische Schalt- oder Stelleinrichtung dann insbesondere auf Stromdauerdurchgang eingestellt. Der Stromfluß in der elektronischen Stelleinrichtung entspricht dann etwa dem maximalen Nenn-Betriebsstrom im Normalbetrieb der Maschine. Falls eine separate Schalteinrichtung, z. B. ein Relais oder Schütz, zum Kurzschließen des Stators vorhanden ist, wird nach dem Schließen dieses Schalters zum Kurzschließen der Statorwicklung die Stelleinrichtung geöffnet.

- 6 -

Im Fall des Veranlassens des Kompensations-Stromflusses mit Hilfe der elektronischen Stelleinrichtung kann letztere aktiv gesteuerten Strom in die Kurzschluß behaftete Spule einspeisen, wobei die Stromrichtung dann  
5 so gestellt wird, daß der Strom phasenrichtig bezüglich des Kurzschlußstroms in der betroffenen Windung fließt. In den zu nicht-kurzgeschlossenen Spulen gehörigen elektronischen Schalt- oder Stelleinrichtungen oder auch in einem Teil von ihnen wird dann so gearbeitet, als  
10 liefe die Maschine im Normalbetrieb.

Wie oben bereits angesprochen, können speziell bei einer elektrischen Maschine mit Einzelspulen ein, mehrere oder sämtliche Einzelspulen im Fall einer von einem Windungs-  
15 Kurzschluß betroffenen Spule kurzgeschlossen bzw. mit einem Kompensationsstrom beaufschlagt werden. Das Beaufschlagen sämtlicher Spulen führt zu einem Abbremsen der Maschine mit höchstmöglichem Bremsmoment. Dies ist möglicherweise in einigen Fällen hinzunehmen oder sogar  
20 erwünscht, kann in anderen Fällen jedoch zu gefährlichen Situationen führen, beispielsweise dann, wenn die elektrische Maschine als Antrieb für ein Fahrzeug verwendet wird. In diesem Fall ist es zu bevorzugen, nur die von dem Windungs-Kurzschluß betroffene Spule - und  
25 ggf. eine oder einige zusätzliche Spulen - zu beaufschlagen, während die verbleibenden Spulen der Maschine derart angesteuert werden, daß ein geregeltes Abbremsen der Maschine erreicht wird.

30 Während sich die obigen Ausführungen mit der Erfindung und speziellen und bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung mit dem Erzeugen von Kompensations-Stromflüssen im Fall eines Windungs-Kurzschlusses befassen, soll im folgenden auf das Erkennen oder  
35 Detektieren eines Windungs-Kurzschlusses näher eingegangen werden. Als Kurzschlußdetektoreinrichtung

ERSATZBLATT (REGEL 26)



- 7 -

kann man z. B. einen Temperatursensor für jede Spulenwicklung vorsehen. Da ein Windungs-Kurzschluß zu einem Kurzschlußstrom mit entsprechend rascher Entstehung von Verlustwärme führt, läßt sich diese Verlustwärme als Indiz für einen Windungs-Kurzschluß heranziehen. Diese Maßnahme hat insbesondere den Vorteil, daß Temperatursensoren möglicherweise ohnehin für den Ablauf des Normalbetriebs der Maschine vorhanden sind, also bereits vorhandene Temperatursensoren zum Erkennen von Windungs-Kurzschlüssen eingesetzt werden können. Die Ausgangssignale der Temperatursensoren werden von einer Kurzschlußdetektor/Kompensationssteuerung erfaßt und umgesetzt in Steuersignale zum Veranlassen von Kurzschlußströmen, beispielsweise durch Schließen der oben angesprochenen Schalter zwischen den Anschlüssen der Spulenwicklungen oder durch Durchgangssteuern der zu der betroffenen Spulenwicklung gehörigen elektronischen Schaltventile.

In einer abgewandelten Ausführungsform weist die Kurzschlußdetektoreinrichtung eine Induktivitätsmeßeinrichtung auf, mit deren Hilfe die jeweilige Spuleninduktivität erfaßt wird. Bei einem Windungs-Kurzschluß verändert sich der Stromverlauf in den an die Spulenwicklung angeschlossenen Verbindungsleitungen. Mit Hilfe von an diese Leitungen angekoppelten Stromfühlern läßt sich der Strom in den Leitungen erfassen. Durch Differenzieren des Stromverlaufs und Vergleichen des so erhaltenen Ableitungswerts für den Strom mit einem Schwellenwert lassen sich steiler gewordene Stromverlauf-Flanken ermitteln. Extrem steile Flanken im Stromverlauf weisen auf eine - durch Windungs-Kurzschluß bedingte - Verringerung der Spuleninduktivität hin. Das Auswerten der Spulenströme zum Erkennen von Induktivitätsverlusten

- 8 -

in den einzelnen Spulen kann in einer zentralen Kurzschlußdetektor/Kompensationssteuerung stattfinden, bevorzugt erfolgt jedoch eine Auswertung und Kurzschlußbildung direkt in der elektronischen  
5 Stelleinrichtung der betroffenen Spule.

Wie oben bereits angesprochen, läßt sich eine besonders einfache und übersichtliche Kompensation bei Windungs-Kurzschlüssen dann erzielen, wenn der Stator aus  
10 Einzelspulen aufgebaut ist. Die Ausgänge der Spulen können elektrisch miteinander verkettet sein und entsprechend von der elektronischen Schalteinrichtung betrieben werden. Besonders bevorzugt wird die Erfindung aber eingesetzt bei solchen Maschinen, bei denen der  
15 Stator aus voneinander unabhängigen Einzelspulen gebildet ist. Dabei besitzt jede Spule einen ihr separat zugeordneten Einphasen-Wechselrichter. Das Erkennen von Kurzschlüssen und Veranlassen von Kompensationsströmen erfolgen separat in dem Zweig der betroffenen Spule.  
20 Dies kann entweder völlig unabhängig von den übrigen Teilen des Stators geschehen, oder man kann mit Hilfe einer zentralen Einrichtung koordinierte Maßnahmen vorsehen.

25 Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild des elektrischen Schaltkreises einer dauermagnetisch elektrischen  
30 Maschine gemäß der Erfindung;

Fig. 2a ein schematisches Ablaufdiagramm für die Überwachung und das Erkennen eines Windungs-Kurzschlusses in einer erfindungsgemäßen  
35 dauermagnetisch erregten elektrischen Maschine mit N Einzelspulen;

- 9 -

Fig. 2b ein Teil-Flußdiagramm einer alternativen Ausgestaltung des in Fig. 2a dargestellten Verfahrens; und

5 Fig. 3 eine stark schematisierte Darstellung einer dauermagnetisch erregten elektrischen Maschine.

10 Bevor auf das in Fig. 1 dargestellte Blockdiagramm der elektrischen Schaltung einer dauermagnetisch erregten elektrischen Maschine gemäß der Erfindung eingegangen wird, sollen zunächst die Hauptbestandteile einer solchen Maschine anhand der Fig. 3 erläutert werden.

15 Wie in Fig. 3 zu sehen ist, besteht eine insgesamt mit M bezeichnete, dauermagnetisch erregte elektrische Maschine aus einem Stator S mit einem feststehenden, zylindrischen Stator S, der mehrere Spulen 8 enthält, und einem in dem Stator S auf einer Welle W drehbar  
20 angeordneten Rotor R. An die Spulen 8 ist über schematisch angedeutete Leitungen eine Stell- und Schalteinrichtung 4 angeschlossen.

25 Der Rotor R besteht in an sich bekannter Weise aus einer Mehrzahl von über den Umfang verteilt angeordneten Dauermagneten.

Die Betriebsweise derartiger dauermagnetisch erregter elektrischer Maschinen ist an sich bekannt. Die  
30 Maschinen können wahlweise als Motor und als Generator arbeiten, wozu eine in der Betriebssteuerschaltung C vorhandene elektronische Schalteinrichtung in die Spulenwicklungen Strom einspeist, bzw. Strom aus den Spulenwicklungen auskoppelt.

35

- 10 -

In Fig. 3 ist als Beispiel eine Maschine mit Innenläufer gezeigt. Ein weiteres Beispiel wäre eine Maschine mit Außenläufer, deren Aufbau im Prinzip ebenfalls bekannt ist.

5

Fig. 1 zeigt in Form eines Blockschaltbilds die wesentlichen Komponenten des elektrischen Teils der erfindungsgemäßen dauermagnetisch erregten elektrischen Maschine.

10

Aus einem Gleichspannungszwischenkreis 2 werden drei als Einzelspulen ausgebildete Spulen 8a, 8b und 8c über eine elektronische Stell- oder Schalteinrichtung 4 betrieben.

15

Beim vorliegenden Ausführungsbeispiel sind die einzelnen Spulen 8a bis 8c unabhängig betreibbare Elemente der elektrischen Maschine, wobei der Fachmann aber erkennt, daß der Stator eine praktisch beliebige Anzahl von Spulen aufweisen kann, die als unabhängige Einzelspulen oder als verkettete Spulenanordnung ausgebildet sein können.

20

Im Fall des Betriebs als Elektromotor speisen innerhalb der elektronischen Schalteinrichtung 4 einzelne Steller 6a, 6b und 6c, die Einphasen-Wechselrichter darstellen, über Verbindungsleitungs-paare 10a, 12a; 10b, 12b... Energie in die betreffenden Spulen 8a bis 8c ein.

25

In der Spulenwicklung jeder Spule 8a, 8b und 8c befindet sich ein Temperatursensor 18a, 18b bzw. 18c. Die von den Temperatursensoren erzeugten Temperatursignale werden auf eine Kurzschlußdetektor/Kompensationssteuerung 20 gegeben. Im Fall eines Kurzschlusses in einer Windung oder in einem Windungsteil einer der Spulen liefert der dazugehörige Temperatursensor ein Signal, welches eine

30  
35

- 11 -

signifikant erhöhte Temperatur in der betroffenen Spulenwicklung signalisiert, was auf einen Windungs-Kurzschluß hinweist.

5 Im folgenden sei angenommen, in der Spulenwicklung der Spule 8a gäbe es einen Windungs-Kurzschluß. Als Folge des Windungs-Kurzschlusses liefert der zu der Spule 8a gehörige Temperatursensor 18a an die Kurzschlußdetektor/Kompensationssteuerung 20 ein Signal,  
10 welches den Kurzschluß signalisiert. Die Schaltung 20 erzeugt daraufhin ein Schließsignal für ein Relais 14a, welches die Anschlüsse der Spule 8a, also die beiden Verbindungsleitungen 10a und 12a, kurzschließt. Daraufhin fließt in der Spule 8a ein Kurzschlußstrom,  
15 dessen Betrag einen elektrisch induzierten magnetischen Wechselfluß veranlaßt, der dem dauermagnetischen Wechselfluß, der die Spule mit dem Windungsschluß durchsetzt, entspricht. Der durch die gesamte Spule 8a fließende Kurzschlußstrom entspricht in etwa dem  
20 normalen maximalen Betriebsstrom durch die Spule 8a. Die für solche Betriebsströme ausgelegte Kühlung im Bereich der Spule 8a kann also die durch den Kurzschlußstrom veranlaßte Verlustwärme in ausreichender Weise abführen. Ohne den Kurzschluß der gesamten Spule 8a wäre  
25 ausschließlich in der von dem Kurzschluß betroffenen Windung oder dem betroffenen Windungsabschnitt ein Kurzschlußstrom geschlossen, von dem ein elektrisch induzierter magnetischer Wechselfluß entstanden wäre, der dem dauermagnetischen Wechselfluß im Betrag bei  
30 entgegengesetzter Phase entsprochen hätte. Durch das "Verteilen" des Kurzschlußstroms auf die gesamte Spule 8a wird also der betroffene Windungsabschnitt vor einem Abbrennen bewahrt. Nach dem Erkennen eines Kurzschlusses durch die Kurzschlußdetektor/Kompensationsschaltung und  
35 dem Veranlassen des Kompensationsstroms in der Spule 8a

- 12 -

kann ein Fehlermeldesignal veranlaßt werden, welches den Kurzschluß in der elektrischen Maschine signalisiert.

Alternativ - und auch zusätzlich - zu dem Veranlassen  
5 des Kompensationsstroms in der oben beschriebenen Weise,  
d. h. durch Detektieren eines Kurzschlusses durch  
Temperatursensor kann ein Kurzschluß in einem  
Windungsabschnitt der Spule 8a auch durch Veränderung  
des Stromverlaufs in den Verbindungsleitungen 10a, 12a  
10 erkannt werden.

In dem Blockschaltbild in Fig. 1 sind in jedem Zweig der  
Spulen 8a, 8b und 8c Stromfühler 16 vorgesehen. Bei  
einem Kurzschluß in beispielsweise der Spule 8a  
15 verringert sich die Spuleninduktivität der Spule 8a.  
Bedingt durch die verringerte Spuleninduktivität werden  
die Flanken der Stromverläufe beträchtlich steiler.  
Bildet man die zeitliche Ableitung des von dem  
Stromfühler 16 erfaßten Stromverlaufs, und vergleicht  
20 man das so gewonnene Signal mit einem Schwellenwert, so  
läßt sich ein Windungs-Kurzschluß in der betreffenden  
Spule 8a erkennen. Zur Veranlassung eines  
Kompensationsstroms kann ein in dem Steller 6a  
enthaltener Schaltkreis eine Differenzierung des  
25 Stromverlaufs vornehmen, um ggf. die elektronischen  
Schaltelemente innerhalb des Stellers 6a auf  
Stromdauerfluß zu schalten und dadurch den Kurzschluß  
der Spule 8a zu bewerkstelligen.

30 Wenn - wie im obigen Beispiel angenommen - in der Spule  
8a ein Windungs-Kurzschluß erkannt wird, so wird gemäß  
obigen Ausführungsbeispiel lediglich die Spule 8a  
kurzgeschlossen, sei es durch Schließen eines Relais 14a  
oder durch Einstellen des Stellers 6a auf  
35 Stromdauerdurchfluß, wobei das Relais 14a von der  
zentralen Kurzschlußdetektor/Kompensationssteuerung 20

- 13 -

angesteuert wird und der Kurzschlußstrom durch den Steller 6a intern anhand eines von dem Stromfühler 16 gelieferten Signals verursacht wird.

5 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann aber anstelle eines Kurzschließens ausschließlich der betroffenen Spule 8a auch noch eine weitere Spule oder können mehrere Spulen mit einem Kompensationsstrom betrieben werden. Im Extremfall  
10 können in der drei Einzelspulen aufweisenden Anordnung nach Fig. 1 sämtliche Spulen 8a bis 8c kurzgeschlossen werden, was zu einem äußerst raschen Anhalten des Rotors führt. Wird beispielsweise bei einem Kurzschluß in einer Windung der Spule 8a zusätzlich die Spule 8b  
15 kurzgeschlossen, die Spule 8c hingegen wie im Normalbetrieb weiter betrieben, so läßt sich ein verlangsamtes Abbremsen des Rotors erreichen. Ein solcher koordinierter Betrieb im Fall eines Kurzschlusses in einer der Spulen 8a bis 8c ist durch gestrichelte Steuerleitungen rechts unten in Fig. 1  
20 angedeutet, wobei die Steuerleitungen von der zentralen Kurzschlußdetektor/Kompensationssteuerung 20 zu der elektronischen Schalteinrichtung 4 führen, die die einzelnen Steller 6a bis 6c beinhaltet.

25

In Fig. 2a ist anhand eines schematischen Flußdiagramms der Ablauf der Überwachung zum Detektieren eines Kurzschlusses dargestellt.

30 Im Schritt S1 nach Fig. 2a wird ein Zähler i auf Null gestellt und im anschließenden Schritt S2 um 1 inkrementiert. i steht für eine von mehreren Einzelspulen 1, ... N einer elektrischen Maschine.

35 Im Schritt S3 wird die Temperatur  $T_{si}$  der Spule i abgefragt. Übersteigt die Temperatur einen Schwellenwert

- 14 -

Tmax, so wird im Schritt S4 die betroffene Spule Si kurzgeschlossen, und anschließend erfolgt im Schritt S5 eine Störungsmeldung.

5 Der Abfrage-Schritt S6 garantiert, daß jede der Spulen nacheinander bezüglich Kurzschluß geprüft wird. Nach Prüfung sämtlicher Spulen beginnt der Ablauf von vorne, indem im Schritt S7 der Index i wieder auf Null gesetzt wird.

10

Wie oben bereits erwähnt, kann das Erkennen eines Kurzschlusses auch durch Differenzieren des Stromverlaufs in den Zuleitungen der betroffenen Spule erfolgen. Wie in Fig. 2b durch den Schritt S3' 15 angedeutet ist, wird zu diesem Zweck der Differenzialquotient  $dI_i/dt$  gebildet und mit einem Schwellenwert  $\Delta$  verglichen. Bei sehr steilen Stromflanken wird der Schwellenwert  $\Delta$  überschritten. Die steilen Stromflanken sind Indiz für eine verringerte 20 Spuleninduktivität, letztere wiederum bedingt durch einen Windungs-Kurzschluß.



## ANSPRÜCHE

5

1. Dauermagnetisch erregte elektrische Maschine,  
umfassend
  - einen Rotor (R) mit einem oder mehreren  
10 Dauermagneten;
  - einen Stator (S) mit einer oder mehreren Spulen  
(8a-8c) mit Spulenwicklungen; und
  - eine elektronische Schalteinrichtung (4) zum  
15 Einkoppeln von Strom in die Spulen (8a-8c)  
und/oder zum Auskoppeln von Strom aus den  
Spulen,  
gekennzeichnet durch
    - eine Kurzschlußdetektoreinrichtung (20; 16) zum  
20 Erfassen eines Kurzschlusses in einer oder in  
mehreren Windungen einer Spule (8a-8c), und
    - eine Kompensationseinrichtung zum Veranlassen  
eines Kompensations-Stromflusses in zumindest  
derjenigen Spule, die die kurzgeschlossene  
25 Windung enthält, um den Kurzschlußstrom in der  
kurzgeschlossenen Windung zu reduzieren.
2. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
daß die Kompensationseinrichtung eine  
30 Schalteinrichtung (14a-14c) zwischen den Anschlüssen  
(10a, 12a; 10b, 12b ...) der Spulen (8a, 8b, ...) aufweist, um diese kurzzuschließen.
3. Maschine nach Anspruch 1 oder 2, dadurch  
gekennzeichnet, daß die Kompensationseinrichtung  
35 Bestandteil der elektronischen Schalteinrichtung (4) ist.

- 16 -

4. Maschine nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die elektronische Schalteinrichtung auf Stromdauerdurchgang einstellbar ist, so daß sich in den Spulen ein Kurzschluß ergibt.
- 5
5. Maschine nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die elektronische Schalteinrichtung (4) aktiv gesteuerten Strom in die Kurzschluß behaftete Spule bzw. Spulen einspeist, der so gerichtet ist, daß er phasenrichtig zu dem Kurzschlußstrom innerhalb der von dem Kurzschluß behafteten Windung bzw. des Windungsabschnitts fließt.
- 10
6. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Kompensationseinrichtung einen Kompensations-Stromfluß entweder
- 15
- (a) nur in der Spule bzw. in den Spulen veranlaßt, in der sich der Windungs-Kurzschluß befindet, oder
- 20
- (b) nur in einer Teilmenge der Spulen veranlaßt, die die Spule bzw. die Spulen mit dem Windungs-Kurzschluß beinhaltet; oder
- (c) in sämtlichen Spulen (8a-8c) veranlaßt.
- 25
7. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest ein Teil der keinen elektrischen Kurzschluß aufweisenden Spulen von der elektronischen Schalteinrichtung (4) betrieblich normal weiterbetrieben wird.
- 30
8. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Kurzschlußdetektoreinrichtung Temperatursensoren (18a-18c) innerhalb der Spulenwicklungen aufweist.
- 35

- 17 -

9. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Kurzschlußdetektoreinrichtung eine Induktivitätsmeßeinrichtung zum Messen der Spuleninduktivität aufweist.
10. Maschine nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Induktivitätsmeßeinrichtung innerhalb der elektronischen Schalteinrichtung (4) ausgebildet ist.
11. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Statorspulen als Einzelspulen (8a, 8b, 8c) ausgebildet sind, die elektrisch miteinander verkettet geschaltet sind und deren Ströme entsprechend verkettet von der elektronischen Schalteinrichtung (4) ein- bzw. ausgekoppelt werden.
12. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Statorspulen Einzelspulen sind (8a, 8b, 8c), deren Ströme durch unabhängig arbeitende Teile (6a, 6b, 6c) innerhalb der elektronischen Einrichtung ein- bzw. ausgekoppelt werden.
13. Verfahren zum Betreiben einer dauermagnetisch erregten elektrischen Maschine im Fall eines Kurzschlusses in einer Windung oder in einem Windungsteil einer Spule, wobei die Maschine aufweist:
- einen Rotor (R) mit einem oder mehreren Dauermagneten;
  - einen Stator (S) mit einer oder mehreren Spulen (8a-8c) mit Spulenwicklungen; und

- 18 -

- eine elektronische Schalteinrichtung (4) zum Einkoppeln von Strom in die Spulen (8a-8c) und/oder zum Auskoppeln von Strom aus den Spulen,  
5 gekennzeichnet durch folgende Schritte:
  - Überwachen jeder Spule (8a, 8b, 8c), um einen möglichen Windungs-Kurzschluß in der Spule zu erkennen, und
  - im Fall eines Kurzschlusses, Veranlassen eines  
10 Kompensations-Stromflusses in zumindest derjenigen Spule, die die kurzgeschlossene Windung enthält, um den Kurzschlußstrom in der kurzgeschlossenen Windung zu reduzieren.
- 15 14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Überwachen einer Spule dadurch erfolgt, daß der Verlauf des Stroms in der Spule ausgewertet wird.
- 20 15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß zum Überwachen der Spule deren Temperatur erfaßt und ausgewertet wird.
- 25 16. Verfahren nach Anspruch 13, 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß ein Kompensations-Stromfluß in einer Spule (8a-8c) dadurch veranlaßt wird, daß die elektronische Schalteinrichtung auf Stromdauerdurchgang eingestellt wird.
- 30 17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15, bei dem als Kompensationsstrom ein aktiv gesteuerter Strom phasenrichtig in die betroffene Spule eingespeist wird.
- 35 18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß in der von einem Kurzschluß

- 19 -

5 betroffenen Spule und ggf. in einer oder mehreren weiteren Spulen ein Kompensations-Stromfluß veranlaßt wird, während die übrigen Spulen von der elektronischen Schalteinrichtung betrieblich normal weiterbetrieben werden.

FIG. 1

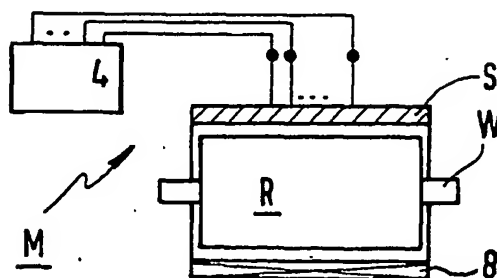
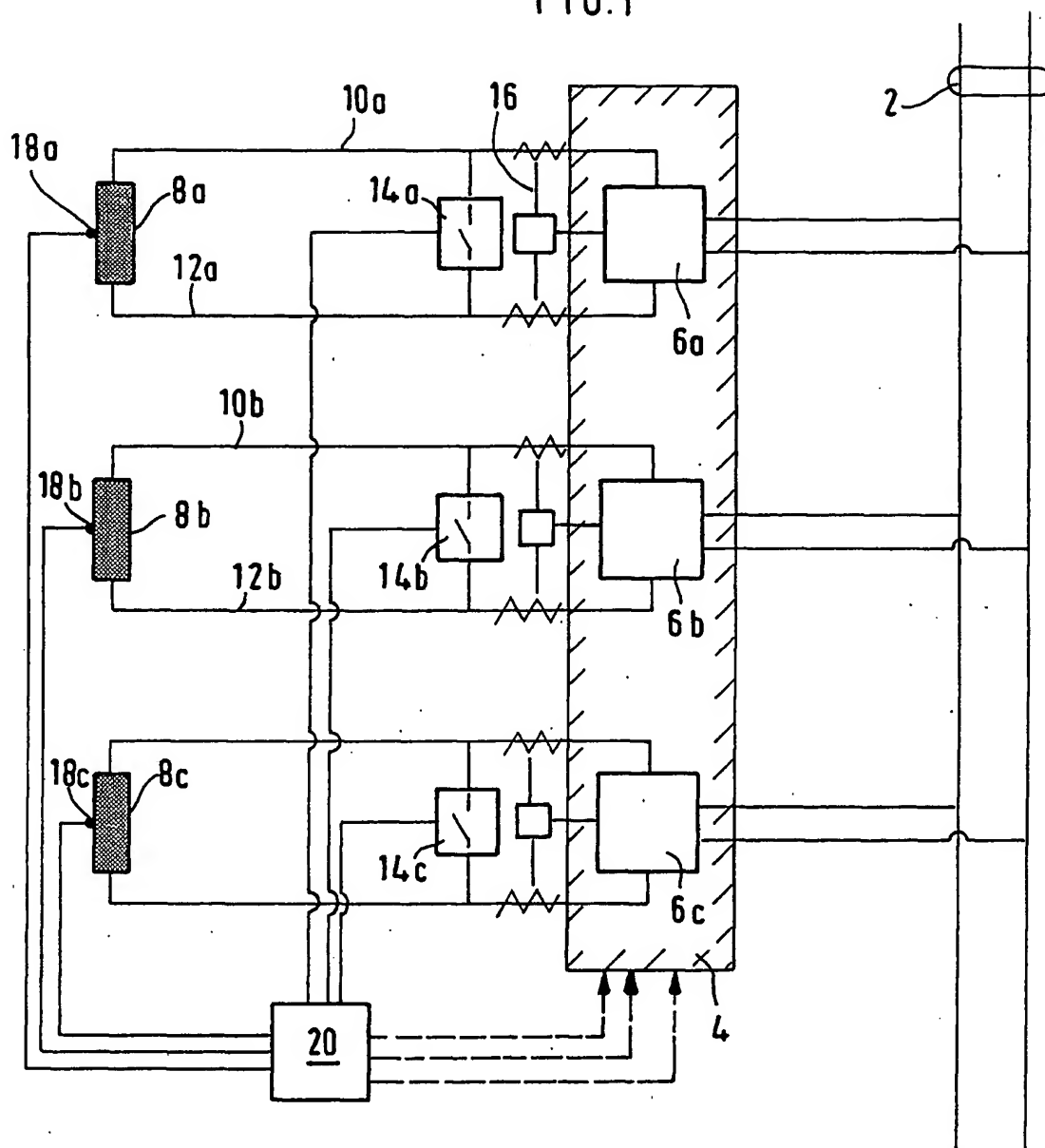


FIG. 3

FIG. 2a

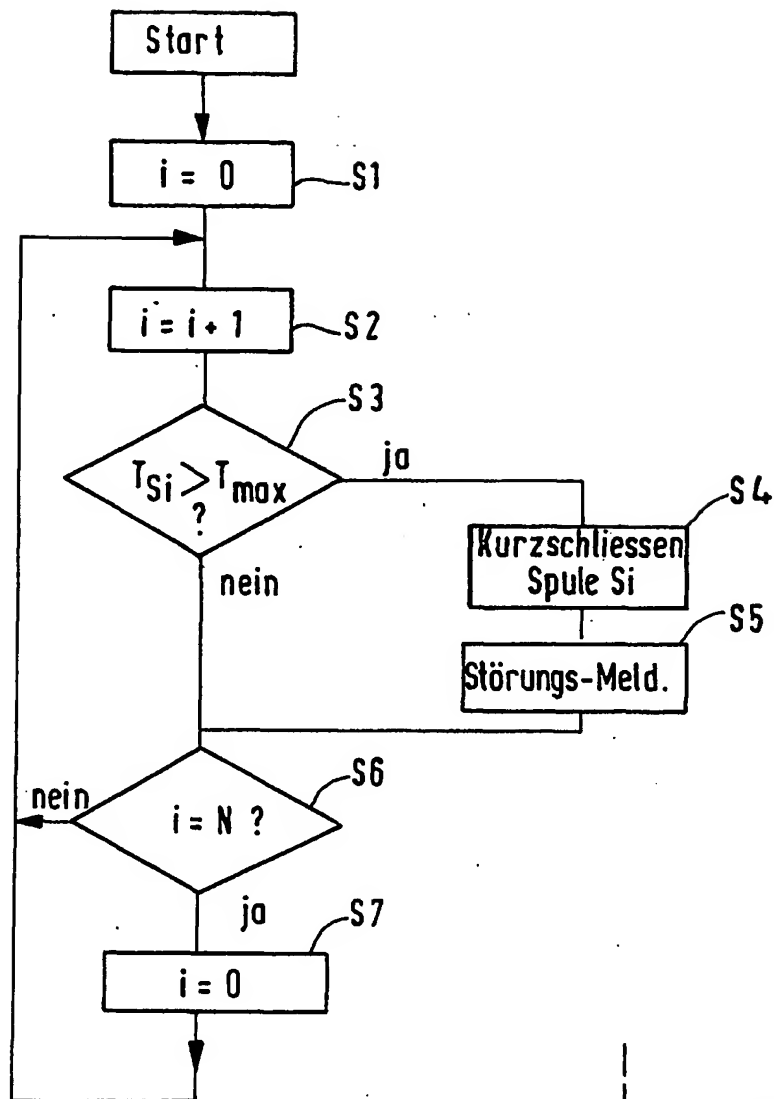
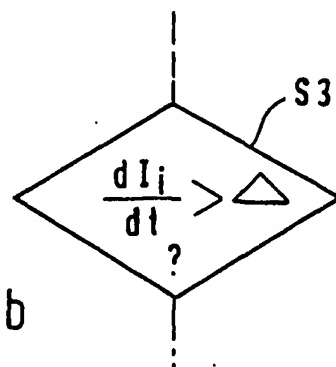


FIG. 2b



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

onal Application No  
PCT/EP 01/01986

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H02H3/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H02H H02P H02M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 198 35 576 A (MANNESSMANN SACHS AG) 18 November 1999 (1999-11-18) column 6, line 35 -column 8, line 54; figures 1,2	1-18
X	WO 96 27942 A (CURTIS INSTR) 12 September 1996 (1996-09-12) page 9, line 10 -page 10, line 21; figure 1	1-18
A	DE 34 32 845 A (H. SCHOTTEN, AKO-WERKE GMBH) 20 March 1986 (1986-03-20) page 7, line 4 - line 23	1-18
A	US 3 040 224 A (F. PILTZ ET AL) 19 June 1962 (1962-06-19) claim 1	1-18
	--- -/--	



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

'A' document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

'E' earlier document but published on or after the international filing date

'L' document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

'O' document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

'P' document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

'T' later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

'X' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

'Y' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

'&' document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 June 2001

Date of mailing of the international search report

22/06/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Tangocci, A



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP 01/01986

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 436 819 A (MIKAMI NOBUHIRO ET AL) 25 July 1995 (1995-07-25) abstract	1-18
A	US 5 469 351 A (MASRUR MD A ET AL) 21 November 1995 (1995-11-21) abstract	1-18
A	US 5 757 596 A (KLINGLER GARY MICHAEL ET AL) 26 May 1998 (1998-05-26) abstract	1-18

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

onal Application No

PCT/EP 01/01986

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19835576 A	18-11-1999	FR 2778799 A GB 2338847 A JP 2000014184 A	19-11-1999 29-12-1999 14-01-2000
WO 9627942 A	12-09-1996	AU 5136296 A	23-09-1996
DE 3432845 A	20-03-1986	NONE	
US 3040224 A	19-06-1962	FR 1211517 A	16-03-1960
US 5436819 A	25-07-1995	DE 4224555 A JP 2756049 B JP 5184157 A	28-01-1993 25-05-1998 23-07-1993
US 5469351 A	21-11-1995	NONE	
US 5757596 A	26-05-1998	DE 19758128 A GB 2321349 A	23-07-1998 22-07-1998

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

nales Aktenzeichen

PCT/EP 01/01986

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 H02H3/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H02H H02P H02M

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 198 35 576 A (MANNESMANN SACHS AG) 18. November 1999 (1999-11-18) Spalte 6, Zeile 35 - Spalte 8, Zeile 54; Abbildungen 1,2	1-18
X	WO 96 27942 A (CURTIS INSTR) 12. September 1996 (1996-09-12) Seite 9, Zeile 10 - Seite 10, Zeile 21; Abbildung 1	1-18
A	DE 34 32 845 A (H. SCHOTTEN, AKO-WERKE GMBH) 20. März 1986 (1986-03-20) Seite 7, Zeile 4 - Zeile 23	1-18
A	US 3 040 224 A (F. PILTZ ET AL) 19. Juni 1962 (1962-06-19) Anspruch 1	1-18

-/--

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. Juni 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

22/06/2001

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Tangocci, A

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Unales Aktenzeichen  
PCT/EP 01/01986

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 436 819 A (MIKAMI NOBUHIRO ET AL) 25. Juli 1995 (1995-07-25) Zusammenfassung ----	1-18
A	US 5 469 351 A (MASRUR MD A ET AL) 21. November 1995 (1995-11-21) Zusammenfassung ----	1-18
A	US 5 757 596 A (KLINGLER GARY MICHAEL ET AL) 26. Mai 1998 (1998-05-26) Zusammenfassung -----	1-18

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/01986

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19835576 A	18-11-1999	FR 2778799 A GB 2338847 A JP 2000014184 A	19-11-1999 29-12-1999 14-01-2000
WO 9627942 A	12-09-1996	AU 5136296 A	23-09-1996
DE 3432845 A	20-03-1986	KEINE	
US 3040224 A	19-06-1962	FR 1211517 A	16-03-1960
US 5436819 A	25-07-1995	DE 4224555 A JP 2756049 B JP 5184157 A	28-01-1993 25-05-1998 23-07-1993
US 5469351 A	21-11-1995	KEINE	
US 5757596 A	26-05-1998	DE 19758128 A GB 2321349 A	23-07-1998 22-07-1998